

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-151023

(P2000-151023A)

(43) 公開日 平成12年5月30日 (2000.5.30)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 S 5/323

H 0 1 S 3/18

6 7 3

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 4 ○ L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-314596

(22) 出願日 平成10年11月5日 (1998.11.5)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 窪田 晋一

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100072833

弁理士 柏谷 昭司 (外2名)

Fターム(参考) 5F073 A413 A445 A451 A474 B405

B406 CA07 CA17 C305 DA05

EA23

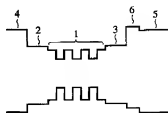
## (54) 【発明の名称】 半導体発光装置

## (57) 【要約】

【課題】 半導体発光装置に関し、エレクトロンプロック層を設けることなく、しきい値電流密度 $J_{th}$ を低減する。

【解決手段】 ナイトライド系化合物半導体を用いた半導体発光装置を構成するp型クラッド層5のp側光ガイド層3との境界側に、p型クラッド層5全体に比べて局所的に高濃度ドーピングされた高濃度ドーピング層6を設ける。

## 本発明の原理的構成の説明図



- 1: 活性層
- 2: n側光ガイド層
- 3: p側光ガイド層
- 4: n型クラッド層
- 5: p型クラッド層
- 6: 高濃度ドーピング層

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ナイトライド系化合物半導体を用いた半導体発光装置において、p型クラッド層のp側光ガイド層との境界側に、前記p型クラッド層全体に比べて局所的に高濃度ドーピングされた高濃度ドーピング層を設けたことを特徴とする半導体発光装置。

【請求項2】 上記高濃度ドーピング層が、上記p型クラッド層の他の領域を構成するA1:Ga<sub>1-x</sub>NよりA1組成比の大きなAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nより構成されることを特徴とする請求項1記載の半導体発光装置。

【請求項3】 上記高濃度ドーピング層のA1組成比yは、上記p型クラッド層の他の領域の組成比xに対して、 $0 < (y-x) \leq 0.4$ の関係を満たすことを特徴とする請求項2または3に記載の半導体発光装置。

【請求項4】 上記高濃度ドーピング層と上記A1:Ga<sub>1-x</sub>N層との間に、A1組成比がxからxに変化するグレーデッド層を設けたことを特徴とする請求項2または3に記載の半導体発光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体発光装置に関するものであり、特に、ナイトライド系化合物半導体からなる短波長半導体レーザにおける直列抵抗を低減するために局所的に設けた高濃度ドーピング層の構成に特徴がある半導体発光装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、短波長半導体レーザは、光ディスクやDVD等の光源として用いられているが、光ディスクの記録密度はレーザ波の波長の二乗に反比例するため、より短い波長の半導体レーザが要請されており、現在商品化されている最短波長の半導体レーザは630〜650nm近傍に波長を有する赤色半導体レーザであり、市販されているDVDに用いられている。

【0003】しかし、より記録密度を高めるためにはさらなる短波長化が必要であり、例えば、光ディスクに動画を2時間記録するためには波長が400nm近傍の青色半導体レーザが不可欠となり、そのため、近年では次世代光ディスク用光源として、青色領域に波長を有する短波長半導体レーザの開発が盛んになされている。

【0004】このような青色半導体レーザ用材料としては、GaN系化合物半導体を用いた半導体レーザの研究・開発が盛んであり、1993年末の日亜化学によるGaN高輝度LEDの発表以降、1995年12月初めに、同じく日亜化学によりバルスレーザ発振の成功が報告され、さらには、1996年7月には室温連続発振(CW発振)の達成が報告されている。

【0005】ここで、図5を参照して従来の短波長半導体レーザの一例を説明する。

図5参照

図5は従来の短波長半導体レーザの光軸に垂直な断面図

であり、まず、(0001)面を主体とするサファイア基板31上に、GaNバッファ層32を介して、n側電極形成層となるn型GaN中間層33、n型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層34、n型GaN光ガイド層35、MQW活性層36、p型GaN光ガイド層37、p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層38、及び、p型GaNコンタクト層39をMOVPE法(有機金属気相成長法)によって順次エピタキシャル成長させる。

【0006】次いで、ドライ・エッチングによりp型GaNコンタクト層39及びp型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層38をメサエッチングすると共に、n型GaN中間層33の一部を露出させて、n型GaN中間層33の露出部にTi/Auからなるn側電極40を設けると共に、p型GaNコンタクト層39上にはストライプ状開口を有するSiO<sub>2</sub>膜41を介してNi/Auからなるp側電極42を設け、次いでドライ・エッチングを施して共振面となる一對の平行な端面を形成したものである。

【0007】しかし、このようなMQW構造の短波長半導体レーザの場合、しきい値電流密度J<sub>th</sub>が3.6kA/cm<sup>2</sup>程度と、非常に大きいという問題があり、この事情を解析するために、電子電流をシミュレーションしたのでその結果を図6を参照して説明する。

【0008】図6参照

図6は、従来の短波長半導体レーザにおける電子電流のシミュレーション結果の説明図であり、図から明らかなように、電子電流はp型クラッド層においても6kA/cm<sup>2</sup>程度流れているので、このp型クラッド層側に漏れ出した電子電流がしきい値電流密度J<sub>th</sub>を上昇させる原因の一つであると考えられる。

【0009】このため、従来においては、MQW活性層36とp型GaN光ガイド層37との間、或いは、p型GaN光ガイド層37とp型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層38との間に、A1比が0.15〜0.20程度の禁帯幅の大きなp型AlGaInオーバーフロー防止層、即ち、エレクトロンプロック層を設けることにより電子の漏れ出しを防止しようとして試みられている。

【0010】例えば、豊田中央研究所においては、MQW活性層とp型GaN光ガイド層との間に、Mgを5×10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>にドーピングしたp<sup>+</sup>型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nストッパ層を設けたことが試みられている(必要ならば、特開平10-56236号公報参照)。

## 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述の様にナイトライド系化合物半導体を用いたMQW半導体レーザにおいて、禁帯幅の大きなp型AlGaInオーバーフロー防止層を設けた場合には、p型AlGaIn層においてはA1組成比を大きくすればほどp型キャリア濃度、即ち、正孔濃度が減少し、十分な導電性が得られず直列抵抗が増加するので、かえってしきい値電流密度J

を上げてしまうという問題がある。

【0012】即ち、 $\text{AlGaIn}$ は、 $\text{Al}$ 組成比が0.09の $\text{p型Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ クラッド層の場合にも、元々ドーピングがしにくい材料であり、ドーパントである $\text{Mg}$ をある一定量より高くしてもかえってキャリア濃度が低下することが知られており、この傾向は $\text{Al}$ 組成比が大きくなるほど強くなるので、現在の $\text{p型クラッド層}$ の $\text{Al}$ 組成比とキャリア濃度は、 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 、 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ といった値が用いられている。

【0013】また、禁制帯幅の大きな $\text{p型AlGaIn}$ オーバーフロー防止層を設けた場合、価電子帯側において、正孔に対する電位障壁が高くなり、これがしきい値電流密度 $J_{th}$ を上げる原因となるという問題もある。

【0014】したがって、本発明は、オーバーフロー防止層、即ち、エレクトロンプロック層を設けることなく、しきい値電流密度 $J_{th}$ を低減することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理的構成の説明図であり、この図1を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。なお、図1は本発明の半導体発光装置の活性層近傍の概略的バンドダイヤグラムであり、符号1, 2, 4は、夫々、活性層、 $n$ 側光ガイド層、及び、 $n$ 型クラッド層を表す。

図1参照

(1) 本発明は、ナイトライド系化合物半導体を用いた半導体発光装置において、 $\text{p型クラッド層5}$ の $\text{p側光ガイド層3}$ との境界側に、 $\text{p型クラッド層5}$ 全体に比べて局所的に高濃度ドーピングされた高濃度ドーピング層6を設けたことを特徴とする。

【0016】この様に、 $\text{p型クラッド層5}$ の一部に $\text{p型クラッド層5}$ 全体に比べて局所的に高濃度ドーピングされた高濃度ドーピング層6を設けることによって、 $\text{p型クラッド層5}$ の結晶性を劣化させることなく正孔濃度を高めることが可能になり、それによって、直列抵抗を低減してしきい値電流密度 $J_{th}$ を低減することができる。なお、この様な局所的ドーピングによるキャリア濃度の増加は、本発明者等において $\text{p型GaInN}$ タクト層に対する局所的ドーピングにおいて確認されている。

【0017】また、この様な高濃度ドーピング層6は、伝導帯側において、バンド端が $\text{p型クラッド層5}$ の他の領域に比べて相対的に高くなるので、電子に対する障壁となり、この障壁作用によってもしきい値電流密度 $J_{th}$ を低減することができる。

【0018】(2) また、本発明は、上記(1)において、高濃度ドーピング層6が、 $\text{p型クラッド層5}$ の他の領域を構成する $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ より $\text{Al}$ 組成比の大きな $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ より構成されることを特徴とする。

【0019】この様に、 $\text{p型クラッド層5}$ を構成する高濃度ドーピング層6の $\text{Al}$ 組成比 $y$ を、 $\text{p型クラッド層}$

5の他の領域の $\text{Al}$ 組成比 $x$ よりも大きくすることによって、電子に対する障壁作用をより高めることができる。なお、この場合の $\text{Al}$ 組成比 $y$ は、 $\text{Al}$ 組成比の増加に伴うキャリア濃度の低減現象が実効的に寄与しないように、従来のエレクトロンプロック層の $\text{Al}$ 組成比より小さくする必要がある。即ち、 $\text{Al}$ 組成比 $y$ の増加による障壁作用の増加と、キャリア濃度の低減による直列抵抗の増加及び障壁作用の低減とは、トレードオフな関係にあるので、最適な範囲の $\text{Al}$ 組成比 $y$ を用いることが必要となる。

【0020】(3) また、本発明は、上記(2)において、高濃度ドーピング層6の $\text{Al}$ 組成比 $y$ は、 $\text{p型クラッド層5}$ の他の領域の組成比 $x$ に対して、 $0 < (y-x) \leq 0.04$ の関係を満たすことを特徴とする。

【0021】この様に、最適な範囲の $\text{Al}$ 組成比 $y$ としては、 $\text{p型クラッド層5}$ の他の領域の組成比 $x$ に対して、 $0 < (y-x) \leq 0.04$ の関係、より好適には、 $0 < (y-x) \leq 0.02$ の関係を満たすことが望ましい。

【0022】(4) また、本発明は、上記(2)または(3)において、高濃度ドーピング層6と $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層との間に、 $\text{Al}$ 組成比 $y$ から $x$ に変化するグレーデッド層を設けたことを特徴とする。

【0023】この様に、グレーデッド層を設けることによって禁制帯幅をスムーズに連続的に変化させることができると共に、電子親和力も連続的に変化させることができ、それによって、高濃度ドーピング層6の界面に正孔に対する電位障壁となるノッチが形成されることがなく、直列抵抗を低減することができる。

【0024】

【発明の実施の形態】ここで、図2及び図3を参照して本発明の第1の実施の形態の短波長半導体レーザを説明する。なお、図2(a)は、本発明の第1の実施の形態の短波長半導体レーザの斜視図であり、また、図2(b)は、図2(a)において破線で示す円内のMQW活性層近傍のバンドダイヤグラムである。

図2(a)参照

まず、(0001)面、即ち、 $c$ 面を主面とする六方晶の $6\text{H-SiC}$ からなる $n$ 型 $\text{SiC}$ 基板11上に、 $\text{TMGa}$ (トリメチルガリウム)、 $\text{TMAAl}$ (トリメチルアルミニウム)、アンモニア、及び、キャリアガスとしての水素を成長ガスとして用いたMOVPE法によって、成長圧力を $70 \sim 760 \text{Torr}$ 、例えば、 $100 \text{Torr}$ とし、成長温度を $800 \sim 1200^\circ\text{C}$ 、例えば、 $950^\circ\text{C}$ とした状態で、厚さ $50 \sim 300 \text{nm}$ 、例えば、 $50 \text{nm}$ の $\text{AlGaIn}$ バッファ層12を成長させる。

【0025】引き続き、 $\text{TMGa}$ 、アンモニア、ドーパント源として $\text{SiH}_4$ 、及び、キャリアガスとして水素を用いて、成長圧力を $70 \sim 760 \text{Torr}$ 、例えば、 $100 \text{Torr}$ とし、成長温度を $800 \sim 1200$

℃、例えば、920℃とした状態で、厚さ0.1~2.0μm、例えば、0.5μmで、不純物濃度が $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型Ga<sub>0.99</sub>N中間層13を成長させる。

【0026】引き続き、TMAI、TMGa、アンモニア、ドーパントとしてSiH<sub>4</sub>、及び、キャリアガスとしての水素を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、950℃とした状態で、厚さ0.1~2.0μm、例えば、0.5μmで、不純物濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層14を成長させる。

【0027】引き続き、TMGa、アンモニア、及び、キャリアガスとしての水素を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、930℃とした状態で、厚さ10~300nm、例えば、100nmで、不純物濃度が $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層15を成長させる。

【0028】引き続き、TMGa、TMIn（トリメチルインジウム）、アンモニア、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を550~900℃、例えば、700℃とした状態で、厚さ1nm~10nm、例えば、5nmのアンドープIn<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバリア層で分離された厚さ3~10nm、例えば、4nmのアンドープIn<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nウエル層を2~10層、例えば、3層成長させてMQW活性層16を形成する。

【0029】引き続き、TMGa、アンモニア、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、1130℃とした状態で、厚さ10~300nm、例えば、100nmで、不純物濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 5.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のp型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層17を成長させる。

【0030】引き続き、TMAI、TMGa、アンモニア、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、950℃とした状態で、厚さ2~50nm、例えば、20nmで、不純物濃度が $2.0 \times 10^{19} \sim 1.0 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のp型クラッド層の一部を構成するp<sup>+</sup>型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18を成長させる。

【0031】引き続き、TMAI、TMGa、アンモ

ニア、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、930℃とした状態で、厚さ0.1~2.0μm、例えば、0.48μmで、不純物濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のp型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層19を成長させる。

【0032】引き続き、TMGa、アンモニア、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、及び、キャリアガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70~760Torr、例えば、100Torrとし、成長温度を800~1200℃、例えば、930℃とした状態で、厚さ0.1~2.0μm、例えば、0.2μmで、不純物濃度が $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のp型Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層20を成長させる。

【0033】次いで、ドライ・エッチングによりp型Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層20及びp型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層19をメサエッチングしたのち、n型SiC基板11の裏面には厚さ100nmのNiからなるn側電極23を設けると共に、p型Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層20上にはストライプ状開口を有するSiO<sub>2</sub>膜21を介して厚さ100nmのNiからなるp側電極22を設け、共振器長Lが700μmとなるように素子分割することによってMQW構造の短波長半導体レーザが完成する。

【0034】図2(b)参照

この本発明の第1の実施の形態においては、p型クラッド層のp側光ガイド層に接する側を局所的に高濃度ドーピングにすることによって、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18としているので、高濃度ドーピングに伴うバンドギャップ内におけるフェルミレベルE<sub>f</sub>の位置の変動により、伝導帯側のバンド端がp型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層19のバンド端より電子に対して高くなるので、このp<sup>+</sup>型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18が電子に対する障壁として作用することになる。

【0035】また、このp<sup>+</sup>型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18は、20nm程度と非常に薄いので、高濃度ドーピングしても、p型クラッド層全体を高濃度ドーピングした場合に比べて結晶性の劣化を引き起こすことがないので、高キャリア濃度が可能になり、それによって、素子抵抗、即ち、直列抵抗を低減することができる。なお、この場合のp<sup>+</sup>型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18における正孔濃度hの実測はできないものの、 $2.0 \times 10^{19} \sim 1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ のMg濃度に対応して $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq h \leq 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると推測される。

【0036】また、このp<sup>+</sup>型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18は、p型Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層19と同じAl組成比であり、従来のエレクトロニクスデバイス

て小さいので、A1組成比の増加によるキャリア濃度の低減の影響を受けることが少なく、高キャリア濃度化が可能になる。

【0037】即ち、このような局所的高濃度ドーピングによるキャリア濃度の増加は、本発明等によるp型GaNコンタクト層に対する直列抵抗の低減の研究から見い出されたものであり、p型GaNコンタクト層の表面50nm程度の領域において、成長時にMg流量を増やし、Mg濃度が $5 \times 10^{25} \text{ cm}^{-3}$ の高濃度ドーピング層を作製することにより、コンタクト層全体を $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ にドーピングする場合に比べてコンタクト抵抗が低減する現象に基づくものである。なお、この場合、高濃度ドーピング層の層厚が50nm程度と薄いため、ホール測定によるキャリア濃度の測定は不可能であるが、コンタクト抵抗が低減したことから、局所的ドーピングによりキャリア濃度が増加していることを推定するものである。

【0038】上記の第1の実施の形態においては、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18の厚さdを $2 \text{ nm} \leq d \leq 50 \text{ nm}$ としているのは、 $d > 50$ の場合には結晶性が劣化するため逆に不純物の活性化が低減し、一方、 $d < 2 \text{ nm}$ の場合には、薄すぎて、高濃度ドーピング層を設けた効果が実効的に得られなくなるためである。

【0039】図3参照

図3は、p型クラッド層のp型光ガイド層の界面から20nmの領域のキャリア濃度を変化させた場合のしきい値電流の変化をシミュレートした結果を示す図であり、図から明らかなように、キャリア濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ におけるしきい値電流が150mAであるのに対して、キャリア濃度が増加するにしたがってしきい値電流は減少し、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ において約130mAとなり、約16%程度の低減が可能になる。

【0040】これは、電子がp型クラッド層側に漏れ出すことが抑制されるためであると考えられ、抑制される原因としては、図2(b)に示した様に、高濃度ドーピング層における伝導帯側のバンド端の上昇による障壁効果が考えられ、また、高キャリア濃度化による直列抵抗の低減効果も考えられる。

【0041】上述の様に、本発明の第1の実施の形態においては、局所的高濃度ドーピングに伴うキャリア濃度の増加による直列抵抗の低減及びキャリア濃度の増加による障壁効果により、短波長半導体レーザの低いしきい値電流密度化が可能になるものである。

【0042】次に、図4(a)を参照して、本発明の第2の実施の形態の短波長半導体レーザを説明するが、この第2の実施の形態の短波長半導体レーザは、高濃度ドーピング層であるp<sup>+</sup>型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18のA1組成比のみを変えてp<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24にしたものであり、その他の構成及び製造条件は上記の第1の実施の形態と実質的に同じである。製造工程の

説明は省略する。

【0043】即ち、この第2の実施の形態におけるp<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24のMg濃度は、 $2.0 \times 10^{19} \sim 1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ であり、それに対応する正孔濃度hは、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq h \leq 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると推測される。また、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24の厚さsも、上記の第1の実施の形態と同様の理由で $2 \text{ nm} \leq d \leq 50 \text{ nm}$ としている。

【0044】図4(a)参照

図4(a)は、第2の実施の形態の短波長半導体レーザのMQW活性層近傍のバンドダイアグラムであり、図から明らかなように、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層18のよりA1組成比の大きなp<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24を用いることによって、電子に対する障壁効果が大きくなるので、電子の漏れ出しを防止して、低いしきい値電流密度化を可能にするものである。

【0045】この場合、高濃度ドーピング層のA1組成比は、p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層19のA1組成比である0.09に對して、0.02程度しか大きくないので、A1組成比の増加によるキャリア濃度低減の現象の影響を受けることが少なく、局所的高濃度ドーピングの効果が期待できる。

【0046】即ち、A1組成比の増加による障壁作用の増加と、A1組成比の増加に伴うキャリア濃度の低減による直列抵抗の増加及び障壁作用の低減とはトレードオフの関係にあるので、高濃度ドーピング層のA1組成比としては、A1組成比の増加による障壁作用の増加と、例えば、p型クラッド層のA1組成比より0.04程度大きい組成比、より好適には、0.02程度大きい組成比に選択することが望ましい。

【0047】次に、図4(b)を参照して、本発明の第3の実施の形態の短波長半導体レーザを説明するが、この第3の実施の形態の短波長半導体レーザは、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24とp型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層19との間にp型Al<sub>0.11</sub>GaNグレーデッド層25を挿入したものであり、その他の構成及び製造条件は上記の第2の実施の形態と実質的に同じである。p型Al<sub>0.11</sub>GaNグレーデッド層25の製造工程のみを説明する。

【0048】このp型Al<sub>0.11</sub>GaNグレーデッド層25を形成するためには、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24を成長させたのち、TMAl、TMGa、アンモニア、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、及びギャバガスとしてのN<sub>2</sub>を用いて、成長圧力を70〜760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800〜1200°C、例えば、950°Cとした状態で、TMAl/TMGa比率を徐々に連続的に減少させてA1組

9

成比が0.11から0.09まで変化する、厚さが2~50 nm、例えば、20 nmで、不純物濃度が、 $2.0 \times 10^{19} \sim 1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 、例えば、 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のP型グレーデッドAlGaIn層25を成長させるものである。

【10049】即ち、この第3の実施の形態におけるp<sup>+</sup>型Al<sub>0.9</sub>,<sub>99</sub>GaN<sub>0.99</sub>N層24及びp型グレードッドAl<sub>1</sub>GaN層25のMg濃度は、各々、 $2.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ であり、それに対応する正孔濃度 $h$ 、 $h_g$ は、各々 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \leq h, h_g \leq 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度でありと推測される。また、p<sup>+</sup>型Al<sub>0.9</sub>,<sub>99</sub>GaN層24及びp型グレードッドAl<sub>1</sub>GaN層25の厚さ $d_4, d_5$ も、上記の第1の実施の形態と同様の理由で各々 $2 \text{ nm} \leq d_4, d_5 \leq 50 \text{ nm}$ としている。

【0050】図4 (b) 参照

図4(b)は、上述のようにして形成した第3の実施の形態の短波帯用導体レザのMQW活性層近傍のバンドギャップをみると、図4(a)から明かのように、 $p^+$ 型  $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ 層24に続いて  $p$ 型グレードッド  $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ 層25を設けているので、禁制帯幅をスムーズに連続的に変化させることができると共に、電界親和力も連続的に変化させることができ、それによって、 $p^+$ 型  $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ 層24の界面に正孔に対する電位障壁となるノッチが形成されることなく、直列抵抗を低減することができる。

【0051】この様に、本発明の第3の実施の形態においては、 $p^+$ 型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24によって電子に対する電位障壁を形成するとともに、 $p$ 型グレーディングAl<sub>0.1</sub>GaN層25を設けることによって正孔に対する電位障壁の形成を抑制しているため、直列抵抗のさらなる低減が可能になり、それによって、低いきい値電流密度化が可能になる。

【0052】なお、この場合の $p^+$ 型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層24のAl組成比も、 $p$ 型クラッド層のAl組成比より0.04程度大きい組成比、より好適には、0.02程度大きい組成比に選択することが望ましい。

【0053】以上、本発明の各実施の形態を説明してきたが、本発明以上記の各実施の形態の構成に限られるものではなく、各種の変更が可能である。例えば、SiC基板では、従来のと同様にサファイア基板を用いても良いものであり、その場合には、まず、従来のと同様に、(0001)面を主面とするサファイア基板の上に、TMGa、アンモニア、及び、キャリアガスとして水素を成長ガスとして用いたMOVPE法によって、成長圧力を70〜760 Torr、例えば、100 Torrとし、500℃の成長温度において、厚さ0.03  $\mu\text{m}$ のGaN低温バッファ層を成長させ、次いで、TMGa、アンモニア、及び、キャリアガスとして水素を用いて、成長圧力を70〜760 Torr、例えば、100 Torrとし、成長温度を800〜1200℃、例えば、950

10

℃とした状態で、厚さ0.1~2.0 $\mu\text{m}$ 、例えば、1.0 $\mu\text{m}$ のn側電極形成層となるn型Ga<sub>0.5</sub>N中間層を成長させる。

【0054】以降は、上記の第1乃至第3の実施の形態の全く同様に、n型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層、n型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層、MQW活性層、p型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層、高濃度ドーピング層（及び、グレーデッド層）、p型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層、p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層、及び、p型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層を順次エピタキシャル成長させる。

【0055】次いで、それ以降は、再び従来例と同様に、ドライエッチングによりp型GaN層及びp型In<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>Nクラッド層をエッチングすると共に、n型GaN中間層の一部を露出させて、n型GaN中間層の露出部分にTi/Auからなるn側電極を設けると共に、p型GaNコンタクト層上にはストライプ状開口を有するSiO<sub>2</sub>膜を介してNi/Auからなるp側電極を設け、次いでドライエッチングを施して共振器面となる一枚の平坦な端面を形成すれば良い。

20 【0056】また、上記の各実施の形態においては、多重量子井戸活性層として  $1n_{0.15}Ga_{0.85}N / 1n_{0.8}Ga_{0.97}N$  かなる MQW 構造を採用しているが、必要とする波長に応じて混晶比を  $Al_1Ga_{1-x}N - 1n_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x < 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) の範囲内で変えても良いものであり、且つ、それに伴って、光ガイド層及びクラッド層の混晶比を  $Al_1Ga_{1-x}N / 1n_{1-a-b}N$  ( $0 \leq a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ ) の範囲内で変えても良い。

【0057】例えば、上記の各実施の形態においては、バリア層としてはInGa<sub>1-x</sub>Nウエル層に対してInGa<sub>1-x</sub>Nを用いているが、InGa<sub>1-x</sub>Nの代わりにAlGa<sub>1-x</sub>N或いはGa<sub>1-x</sub>Nを用いても良いものである。

【0058】また、上記の各実施の形態においては、 $n$ 側光ガイド層として $n$ 型光ガイド層を用い、 $p$ 側光ガイド層として $p$ 型光ガイド層を用いているが、 $n$ 側光ガイド層及び $p$ 側光ガイド層の内の少なくとも一方をアンダー層で構成しても良いものである。

【0059】

【発明の効果】本発明によれば、ナイトライド系化合物半導体からなる半導体電光装置のp型ラッド層のp値を光ガイド層の境界領域に局所的に高濃度ドープを施すことによって高キャリア濃度が可能になり、それによって、直列抵抗の低減と障壁効果の向上が可能になるのである。しきい値電流密度 $J_{th}$ が低減されて低消費電力化が可能になり、光情報記録装置等の光源としてその高密度化に寄与することが大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理的構成の説明図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態の短波長半導体レーザの説明図である。

50 【図3】本発明の第1の実施の形態におけるp<sup>+</sup>型A1

## 11

0.09Ga0.91N層の作用の説明図である。

【図4】本発明の第2及び第3の実施の形態の説明図である。

【図5】従来の短波長半導体レーザの説明図である。

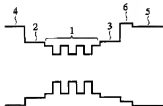
【図6】従来の短波長半導体レーザにおける電子電流のシミュレーション結果の説明図である。

【符号の説明】

- 1 活性層
- 2 n側光ガイド層
- 3 p側光ガイド層
- 4 n型クラッド層
- 5 p型クラッド層
- 6 高濃度ドーピング層
- 11 n型SiC基板
- 12 AlGaInバッファ層
- 13 n型GaN中間層
- 14 n型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層
- 15 n型GaN光ガイド層
- 16 MQW活性層
- 17 p型GaN光ガイド層

【図1】

本発明の原理的構成の説明図



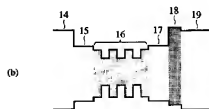
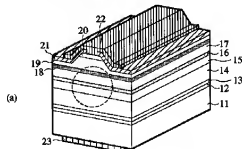
- 1: 活性層
- 2: n側光ガイド層
- 3: p側光ガイド層
- 4: n型クラッド層
- 5: p型クラッド層
- 6: 高濃度ドーピング層

## 12

- 18 p<sup>+</sup>型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層
- 19 p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層
- 20 p型GaNコンタクト層
- 21 SiO<sub>2</sub>膜
- 22 p側電極
- 23 n側電極
- 24 p<sup>+</sup>型Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N層
- 25 p型AlGaInグレーデッド層
- 31 サファイア基板
- 32 GaNバッファ層
- 33 n型GaN中間層
- 34 n型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層
- 35 n型GaN光ガイド層
- 36 MQW活性層
- 37 p型GaN光ガイド層
- 38 p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Nクラッド層
- 39 p型GaNコンタクト層
- 40 n側電極
- 41 SiO<sub>2</sub>膜
- 42 p側電極

【図2】

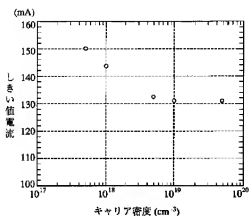
本発明の第1の実施の形態の短波長半導体レーザの説明図



- 11: n型SiC基板
- 12: AlGaIn<sup>+</sup>バッファ層
- 13: n型GaN中間層
- 14: n型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N<sup>+</sup>層
- 15: n型GaN光ガイド層
- 16: MQW活性層
- 17: p型GaN光ガイド層
- 18: p<sup>+</sup>型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N層
- 19: p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N<sup>+</sup>層
- 20: p型Al<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>N<sup>+</sup>層
- 21: SiO<sub>2</sub>膜
- 22: p側電極
- 23: n側電極

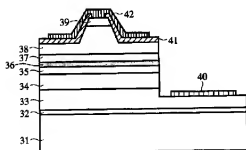
【図3】

本発明の第1の実施の形態における  
p<sup>+</sup>型Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>N層の作用の説明図



【図5】

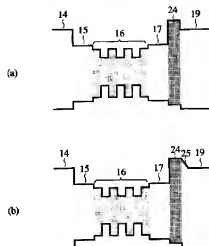
従来の短波長半導体レーザーの説明図



- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 31: サファイア基板      | 37: p型GaN光ガイド層   |
| 32: GaNベッファ層     | 38: p型AlGaIn量子阱層 |
| 33: n型GaN中間層     | 39: p型GaNクラッド層   |
| 34: n型AlGaIn量子阱層 | 40: n型電極         |
| 35: n型AlGaIn量子阱層 | 41: SiO₂膜        |
| 36: MQW活性層       | 42: p型電極         |

【図4】

本発明の第2及び第3の実施の形態の説明図



- |  |  |
|--|--|
| 14: n型Al <sub>0.6</sub> Ga <sub>0.4</sub> Nクラッド層 | 19: p型Al <sub>0.6</sub> Ga <sub>0.4</sub> Nクラッド層 |
| 15: n型GaIn光ガイド層                                  | 24: p型AlGaIn量子阱層                                 |
| 16: MQW活性層                                       | 25: p型AlGaIn量子阱層                                 |
| 17: p型GaIn光ガイド層                                  |  |

【図6】

従来の短波長半導体レーザーにおける電子電流の  
シミュレーション結果の説明図

